

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Tm^{3+} и Ho^{3+} И ДВУХМИКРОННЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

П.А. Рябочкина¹, Е.Е. Ломонова², А.В. Кулебякин², С.Н.
Ушаков², А. Н. Чабушкин¹

1 – Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

2 – Институт общей физики им. А.М. Прохорова



Цель работы: исследование спектрально-люминесцентных и генерационных свойств кристаллов стабилизированного диоксида циркония, активированных ионами Tm^{3+} ($ZrO_2-Y_2O_3-Tm_2O_3$) и Ho^{3+} ($ZrO_2-Y_2O_3-Ho_2O_3$) для создания на их основе макетов двухмикронных лазеров

Задачи:

Регистрация спектров поглощения кристаллов $ZrO_2-12\text{мол.}\%Y_2O_3-2\text{мол.}\%Tm_2O_3$ и $ZrO_2-13,6\text{мол.}\%Y_2O_3-0,4\text{мол.}\%Ho_2O_3$ в спектральном диапазоне 350-2400 нм

Регистрация спектров люминесценции кристаллов $ZrO_2-12\text{мол.}\%Y_2O_3-2\text{мол.}\%Tm_2O_3$ и $ZrO_2-13,6\text{мол.}\%Y_2O_3-0,4\text{мол.}\%Ho_2O_3$ в области 1,6-2,4 мкм

Оценка эффективности процесса кросс-релаксации (${}^3H_4 \rightarrow {}^3F_4$, ${}^3H_6 \rightarrow {}^3F_4$ между ионами Tm^{3+}) в кристаллах $ZrO_2-12\text{мол.}\%Y_2O_3-2\text{мол.}\%Tm_2O_3$

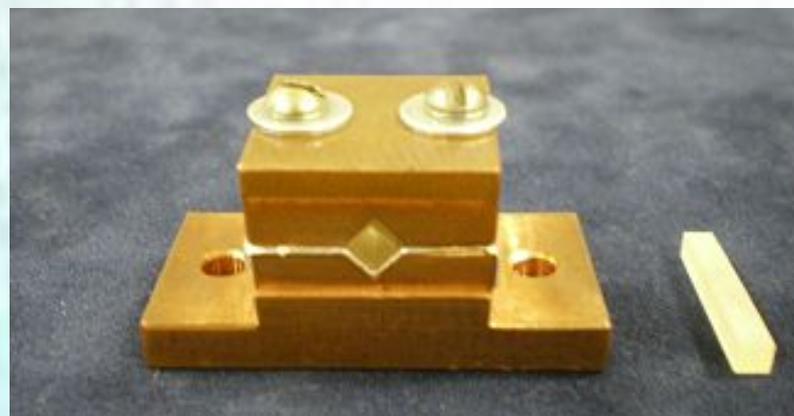
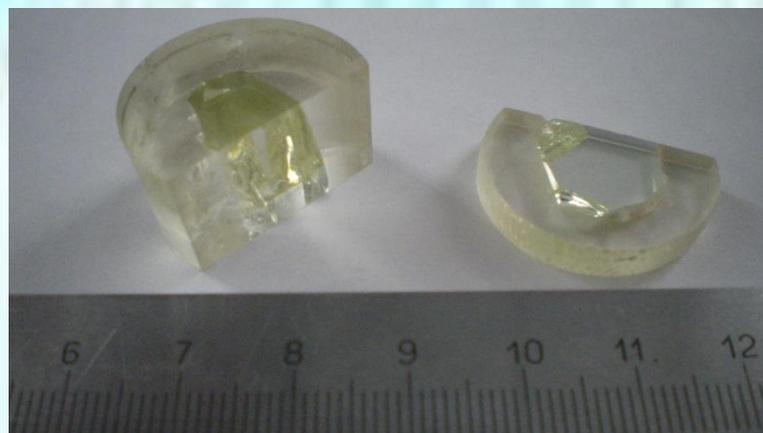
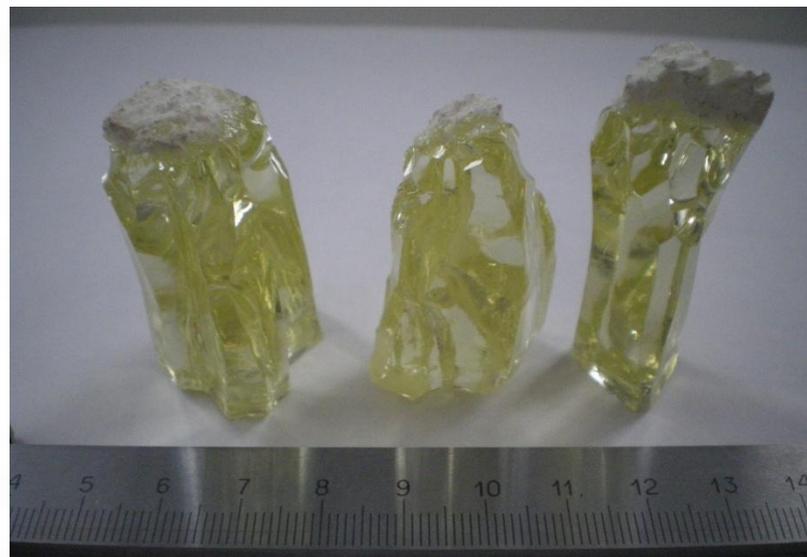
Проведение генерационного эксперимента на кристаллах $ZrO_2-12\text{мол.}\%Y_2O_3-2\text{мол.}\%Tm_2O_3$ и $ZrO_2-13,6\text{мол.}\%Y_2O_3-0,4\text{мол.}\%Ho_2O_3$

Объекты исследований

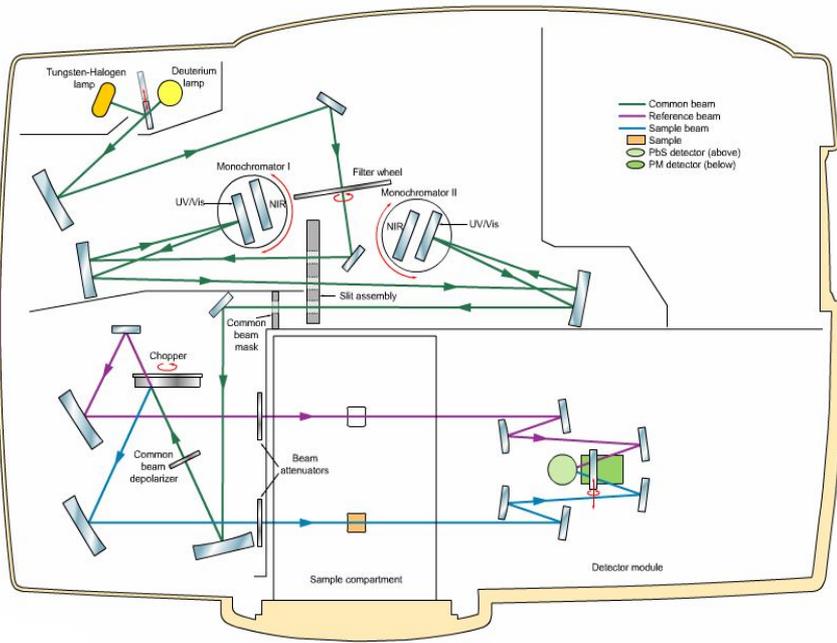
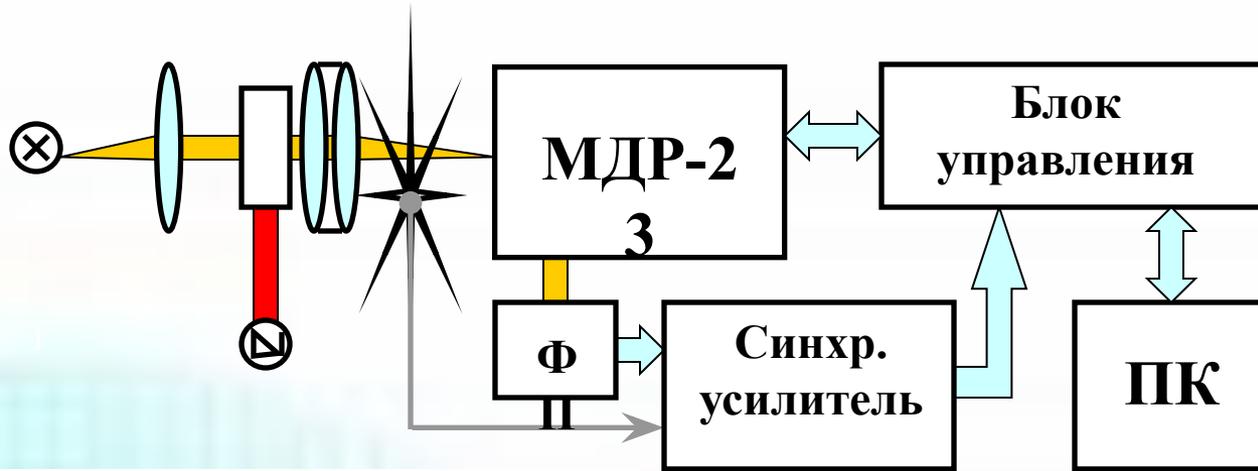


Кристаллы получены в лаборатории «Фианит» ИОФРАН

(Зав. лабораторией д.т.н. Е.Е. Ломонова)



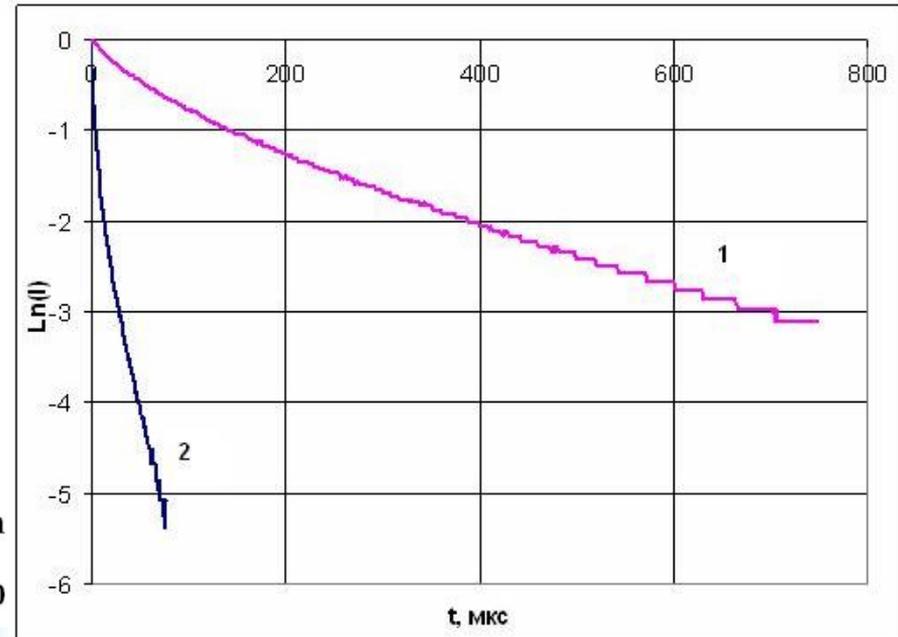
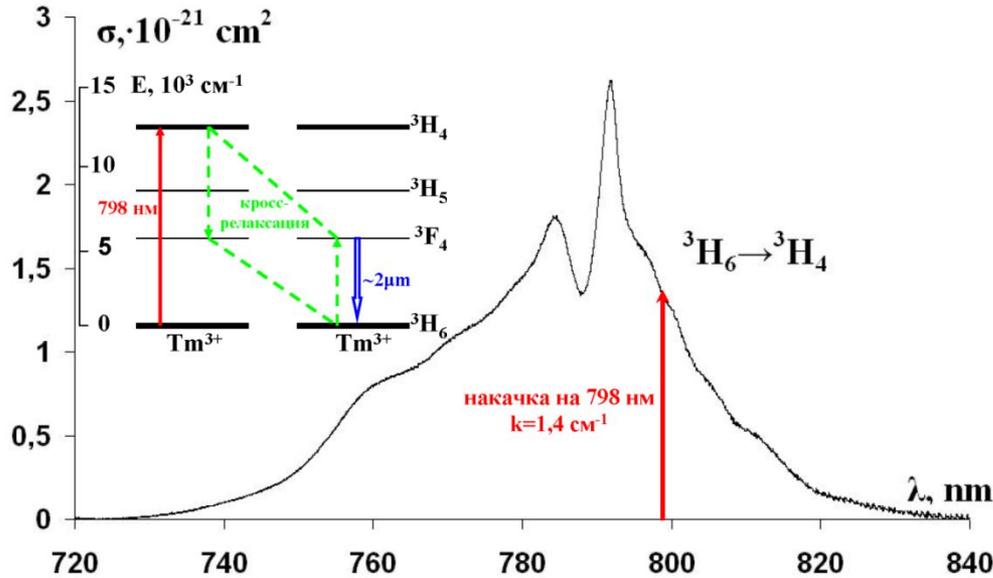
Схемы экспериментальных установок для регистрации спектров поглощения и люминесценции



Оптическая схема спектрофотометра Lambda 950

Спектры поглощения кристаллов

ZrO_2 -12мол.% Y_2O_3 -2мол.% Tm_2O_3 , $T=300\text{ K}$, $N=10^{21}\text{ см}^{-3}$



Спектр поглощения ионов Tm^{3+} в кристаллах

ZrO_2 -12мол.% Y_2O_3 -мол.% Tm_2O_3 ,

обусловленный переходом с основного состояния $^3\text{H}_6$

на возбуждённый мультиплет $^3\text{H}_4$.

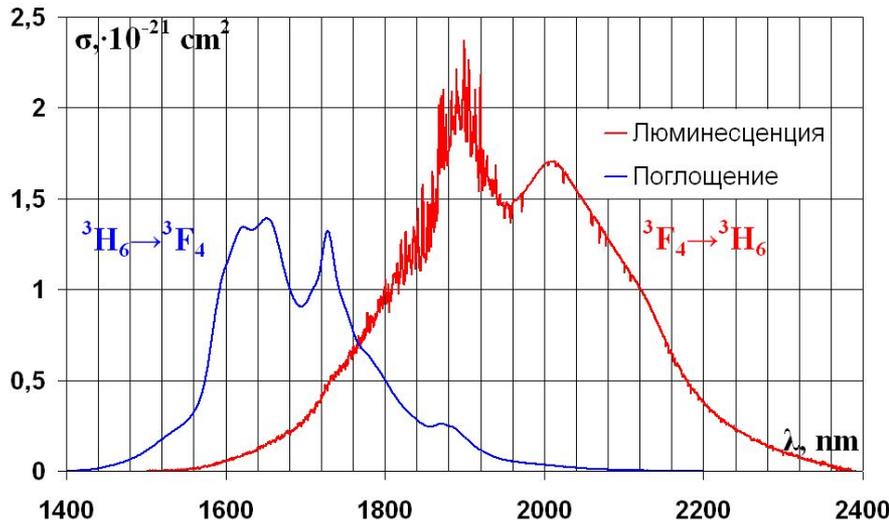
$$\sigma_{abs}(\lambda) = \frac{k}{N}$$

Кинетики затухания люминесценции с уровня $^3\text{H}_4$ ионов Tm^{3+} в кристаллах ZrO_2 -13,8мол.% Y_2O_3 -0,2мол.% Tm_2O_3 (1) и ZrO_2 -12мол.% Y_2O_3 -2мол.% Tm_2O_3 (2)

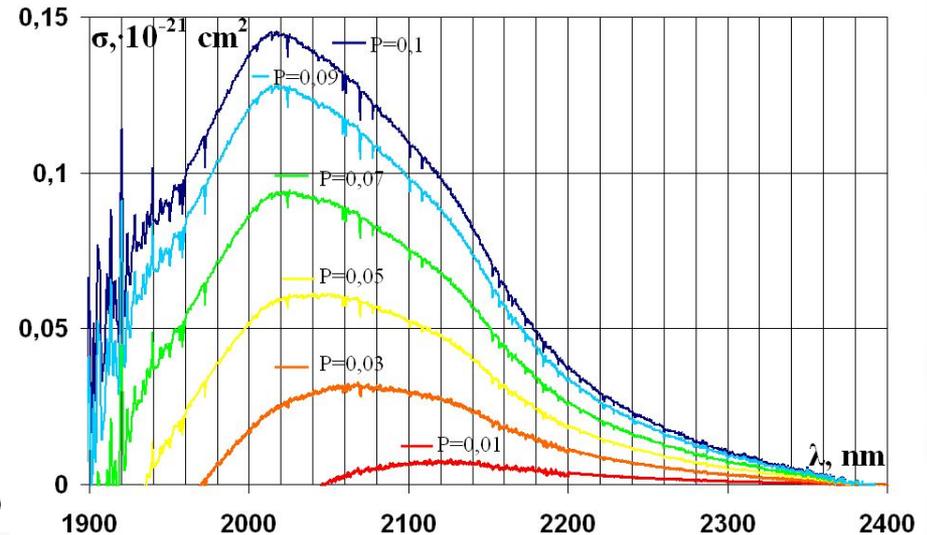
$$\beta_{\text{Tm} \rightarrow \text{Tm}} = \left[1 - \frac{\int (I_{\text{Tm}} / I_0) dt}{\int (I'_{\text{Tm}} / I'_0) dt} \right] \times 100\%$$

$$\beta_{\text{Tm} \rightarrow \text{Tm}} > 90\%$$

Спектрально-люминесцентные свойства кристаллов $ZrO_2-Y_2O-Tm_2O_3$



Сечение поглощения и люминесценции для перехода ${}^3H_6 \leftrightarrow {}^3F_4$ ионов Tm^{3+} в кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3-Tm_2O_3$



Сечение усиления для перехода ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$ ионов Tm^{3+} в кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3-Tm_2O_3$ для значений параметра инверсной населённости $P = 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,09; 0,1$

$$\tau_{\text{exp}} = 7.8 \text{ мс}$$

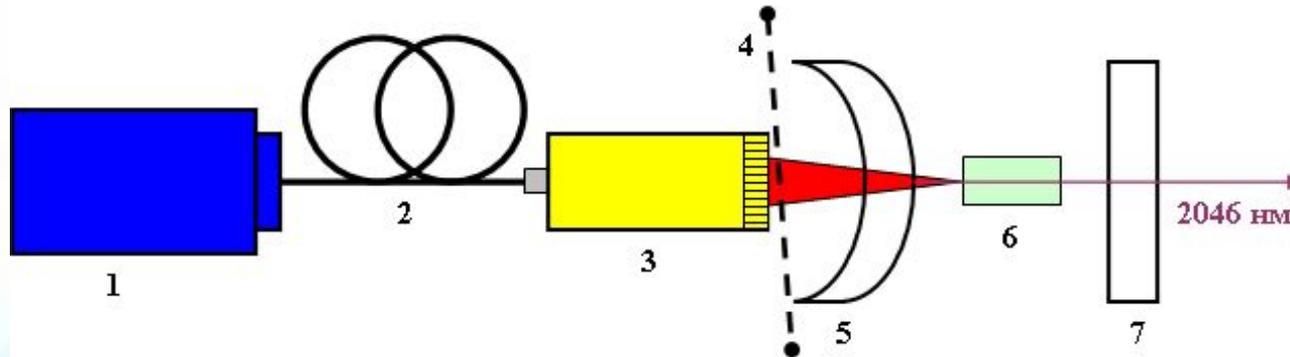
$$\sigma_{em}(\lambda) = \frac{\lambda^5 I(\lambda)}{8\pi c \tau_R n^2 \int I(\lambda) \lambda d\lambda}$$

$$P = \frac{N_e}{N_e + N_f}$$

$$\sigma_{gain}(\lambda) = P\sigma_{em}(\lambda) - (1 - P)\sigma_{abs}(\lambda)$$

Генерационный эксперимент на кристаллах $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O-Tm}_2\text{O}_3$

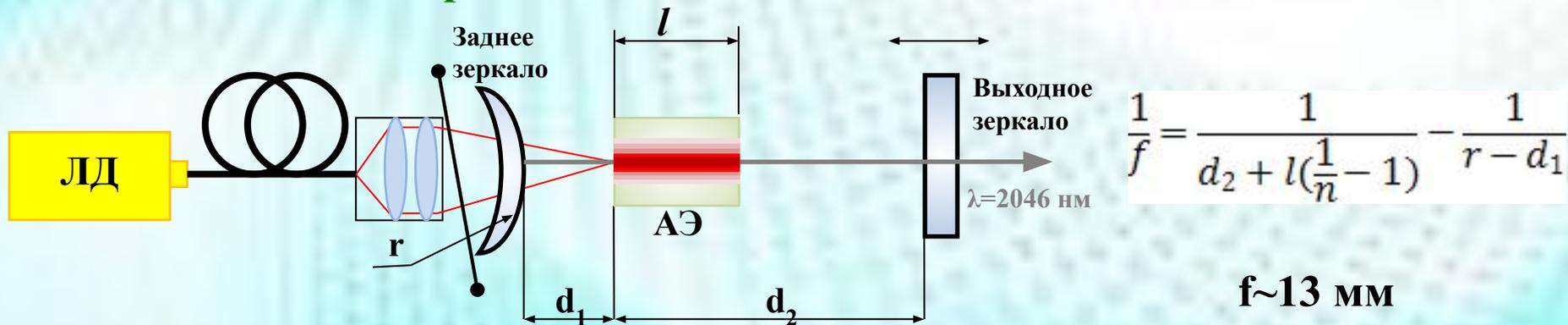
Оптическая схема лазера на кристалле $\text{ZrO}_2\text{-12mol\%Y}_2\text{O}_3\text{-2mol\%Tm}_2\text{O}_3$



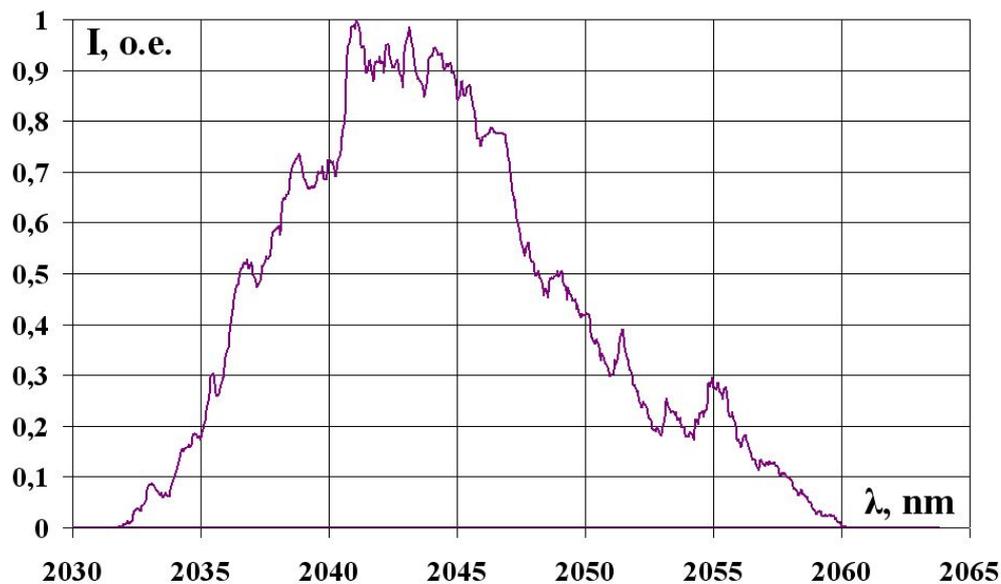
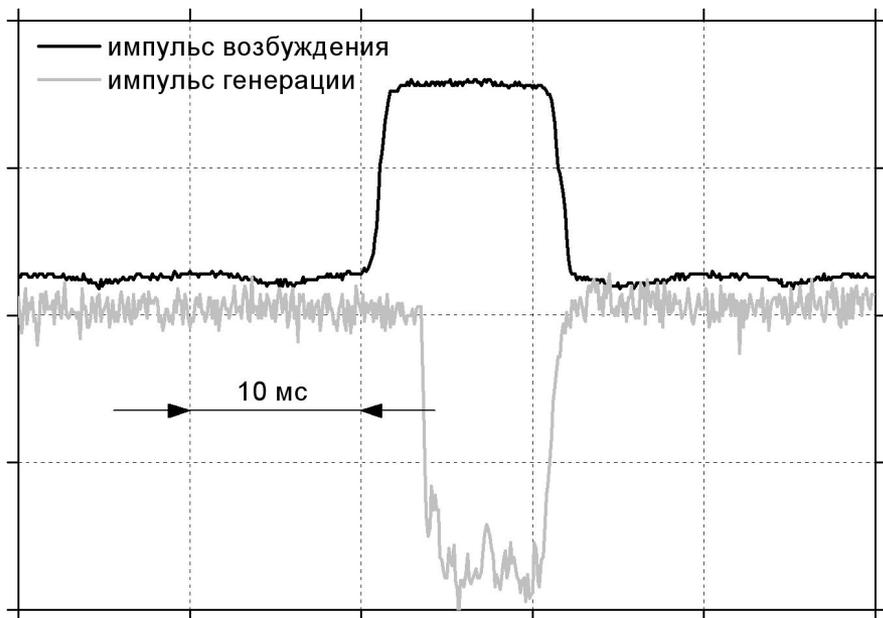
- 1 – лазерная диодная линейка; 2 – оптическое волокно ($d=400$ мкм);
3 – объектив; 4 – прерыватель; 5 – заднее сферическое зеркало ($r = -600$ мм);
6 – активный элемент; 7 – выходное плоское зеркало

$$P_{\text{пор.}} = 5 \text{ Вт}, \lambda_{\text{ген.}} = 2046 \text{ нм}$$

Оценка термолинзы наводимой в активном элементе



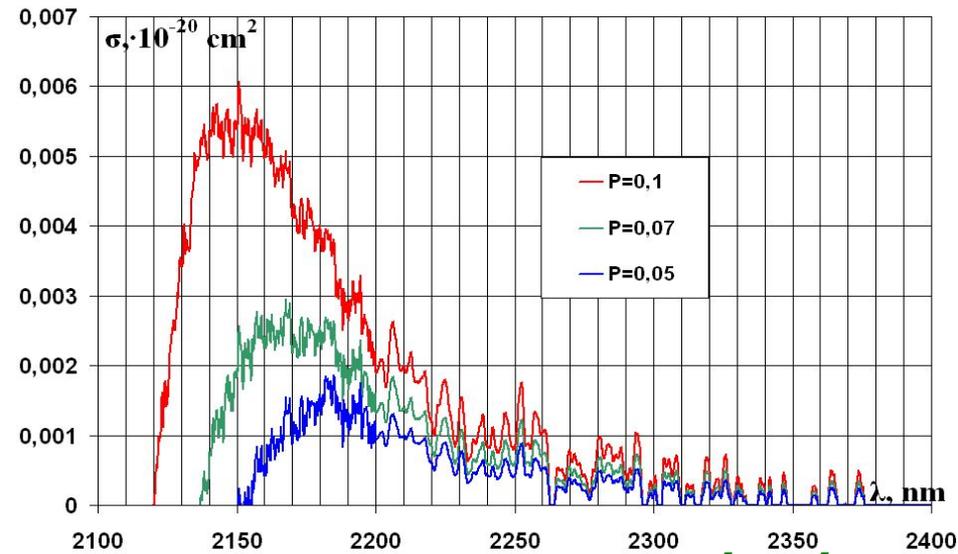
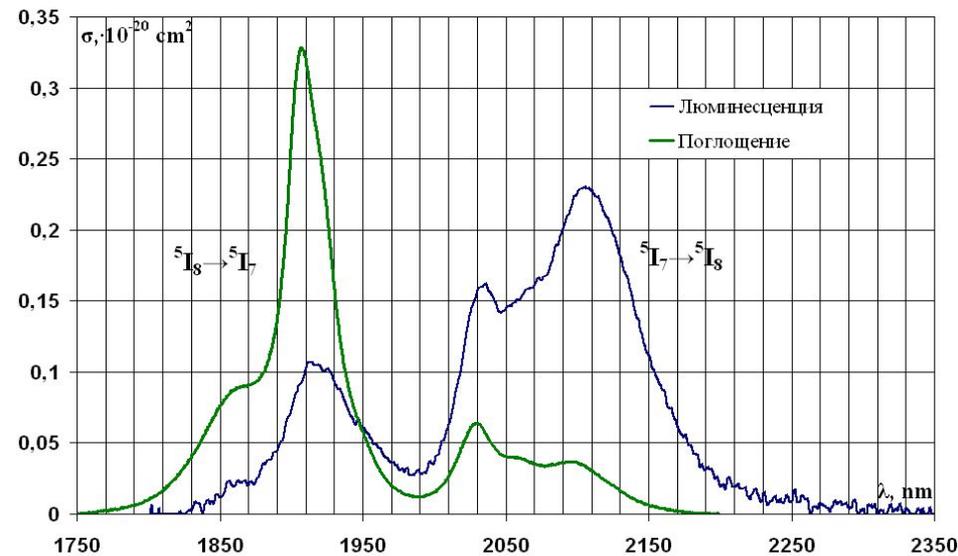
Генерационный эксперимент на кристаллах $ZrO_2-Y_2O-Tm_2O_3$



Осциллограммы импульса генерации относительно импульса возбуждения

Спектр лазера на кристаллах $ZrO_2-12\text{мол.}\%Y_2O_3-2\text{мол.}\%Tm_2O_3$

Спектрально-люминесцентные свойства кристаллов $ZrO_2-Y_2O_3-Ho_2O_3$



Сечение поглощения и люминесценции для перехода ${}^5I_8 \leftrightarrow {}^5I_7$ ионов Ho^{3+} в кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3-Ho_2O_3$

$$\frac{1}{\tau_R} = \frac{8\pi c n^2}{n_0 \lambda_0^4} \frac{2J^* + 1}{2J + 1} \int k(\lambda) d\lambda$$

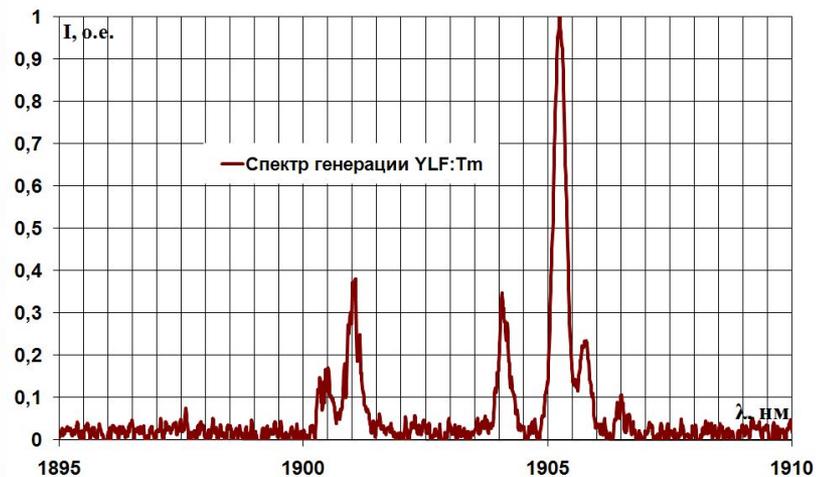
$$\sigma_{em}(\lambda) = \frac{\lambda^5 I(\lambda)}{8\pi c \tau_R n^2 \int I(\lambda) \lambda d\lambda}$$

Сечение усиления для перехода ${}^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$ ионов Ho^{3+} в кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3-Ho_2O_3$ для значений параметра инверсной населённости $P = 0,05; 0,07; 0,1$

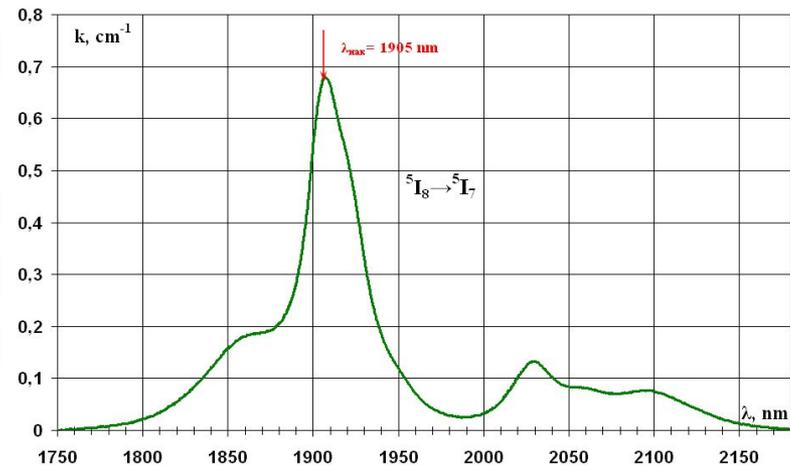
$$P = \frac{N_e}{N_e + N_f}$$

$$\sigma_{gain}(\lambda) = P\sigma_{em}(\lambda) - (1 - P)\sigma_{abs}(\lambda)$$

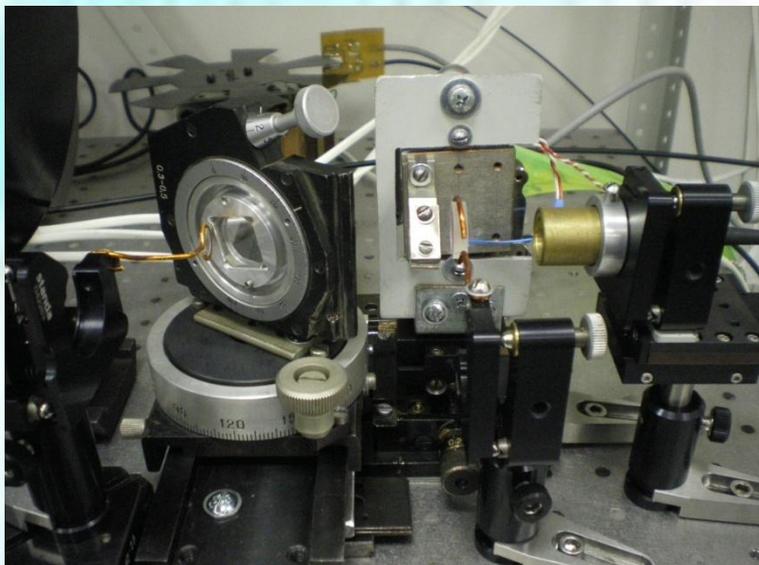
Генерационный эксперимент на кристаллах ZrO_2 - Y_2O_3 - Ho_2O_3



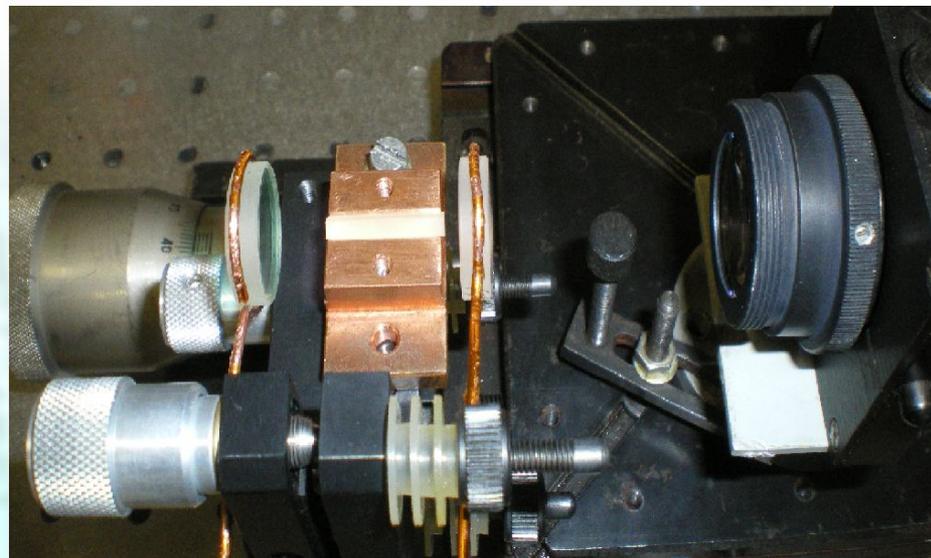
Спектр генерации лазера накачки YLF:Tm



Спектр поглощения ионов Ho^{3+} в кристаллах ZrO_2 -13,6mol% Y_2O_3 -0,4mol% Ho_2O_3 ($N=2 \cdot 10^{20} cm^{-3}$)



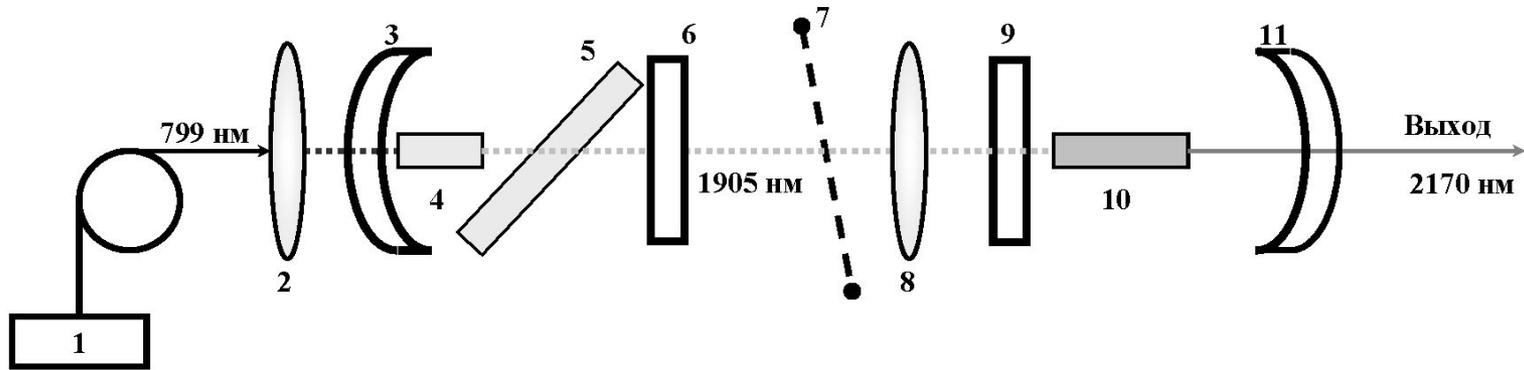
Макет лазера YLF:Tm



Макет лазера ZrO_2 -13,6mol% Y_2O_3 -0,4mol% Ho_2O_3

Генерационный эксперимент на кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3-Ho_2O_3$

Оптическая схема лазера на кристалле $ZrO_2-13,6mol\%Y_2O_3-0,4mol\%Ho_2O_3$



1 – лазерная диодная линейка с длиной волны излучения 798 нм;

2 – фокусирующий объектив; 4 – активный элемент YLF:Tm;

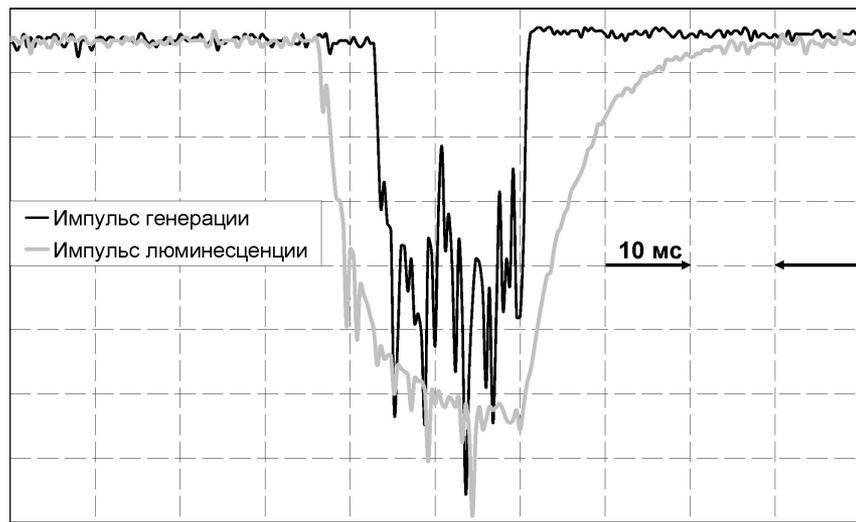
3, 6 – зеркала резонатора лазера YLF:Tm; 5 – поляризационный фильтр Вуда;

7 – прерыватель; 8 – фокусирующая линза с $f=50$ мм;

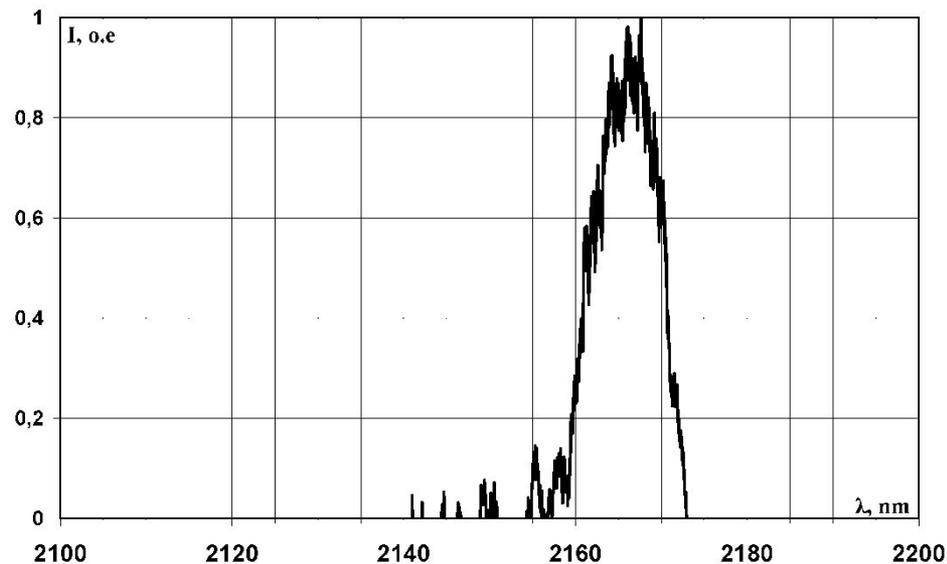
9, 11 – зеркала резонатора; 10 – активный элемент $ZrO_2-13,6mol\%Y_2O_3-0,4mol\%Ho_2O_3$.



Генерационный эксперимент на кристаллах $ZrO_2-Y_2O_3-Ho_2O_3$



Осциллограммы импульса генерации относительно импульса люминесценции кристаллов $ZrO_2-13,6\text{мол.}\%Y_2O_3-0,4\text{мол.}\%Ho_2O_3$



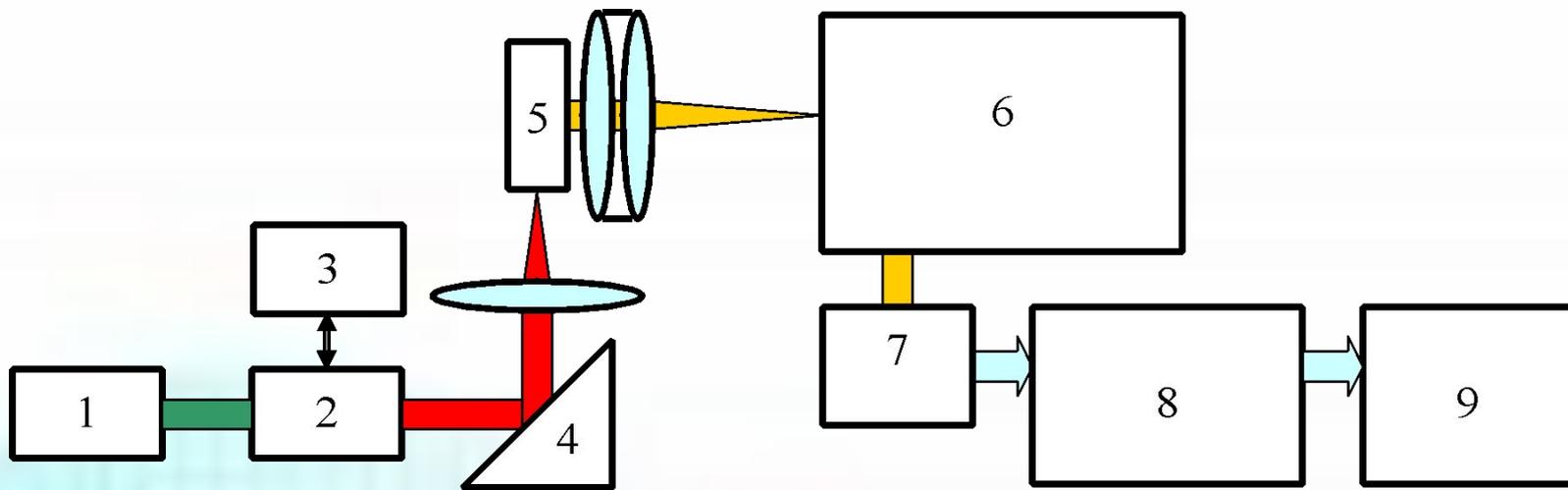
Спектр генерации лазера на кристаллах $ZrO_2-13,6\text{мол.}\%Y_2O_3-0,4\text{мол.}\%Ho_2O_3$

Заключение

- Зарегистрированы спектры поглощения кристаллов ZrO_2 -12мол.% Y_2O_3 -2мол.% Tm_2O_3 с основного состояния $^3\text{H}_6$ на возбуждённые мультиплеты: $^1\text{G}_4$, $^3\text{F}_2$, $^3\text{F}_3$, $^3\text{H}_4$, $^3\text{H}_5$, $^3\text{F}_4$ ионов Tm^{3+}
- Зарегистрированы спектры поглощения кристаллов ZrO_2 -13,6 мол.% Y_2O_3 -0,4мол.% Ho_2O_3 с основного состояния $^5\text{I}_8$ на возбуждённые мультиплеты: $^5\text{I}_7$, $^5\text{S}_2$, $^5\text{G}_6$, $^5\text{F}_1$, $^5\text{F}_4$, $^5\text{F}_5$, $^5\text{I}_6$ ионов Ho^{3+}
- По формуле Фухтбауэра-Ладенбурга была рассчитана спектральная зависимость сечения люминесценции $\sigma(\lambda)$ для перехода $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ ионов Tm^{3+} и перехода $^5\text{I}_7 \rightarrow ^5\text{I}_8$ ионов Ho^{3+} в кристаллах стабилизированного диоксида циркония
- Получена спектральная зависимость сечения усиления $\sigma_g(\lambda)$ при различных параметрах относительной инверсной населённости ($P=0.01$; 0.03 ; 0.05 ; 0.07 ; 0.1)
- В работе впервые получена генерация лазерного излучения на длине волны $\lambda_{\text{ген.}} = 2046$ нм в условиях полупроводниковой лазерной накачки на кристаллах ZrO_2 -12мол.% Y_2O_3 -2мол.% Tm_2O_3
- Впервые создан макет лазера на кристаллах ZrO_2 -13,6мол.% Y_2O_3 -0,4 мол.% Ho_2O_3 с длиной волны излучения 2166 нм, при накачке на уровень $^5\text{I}_7$ ионов Ho^{3+} лазером на кристаллах YLF:Tm.

Спасибо за внимание

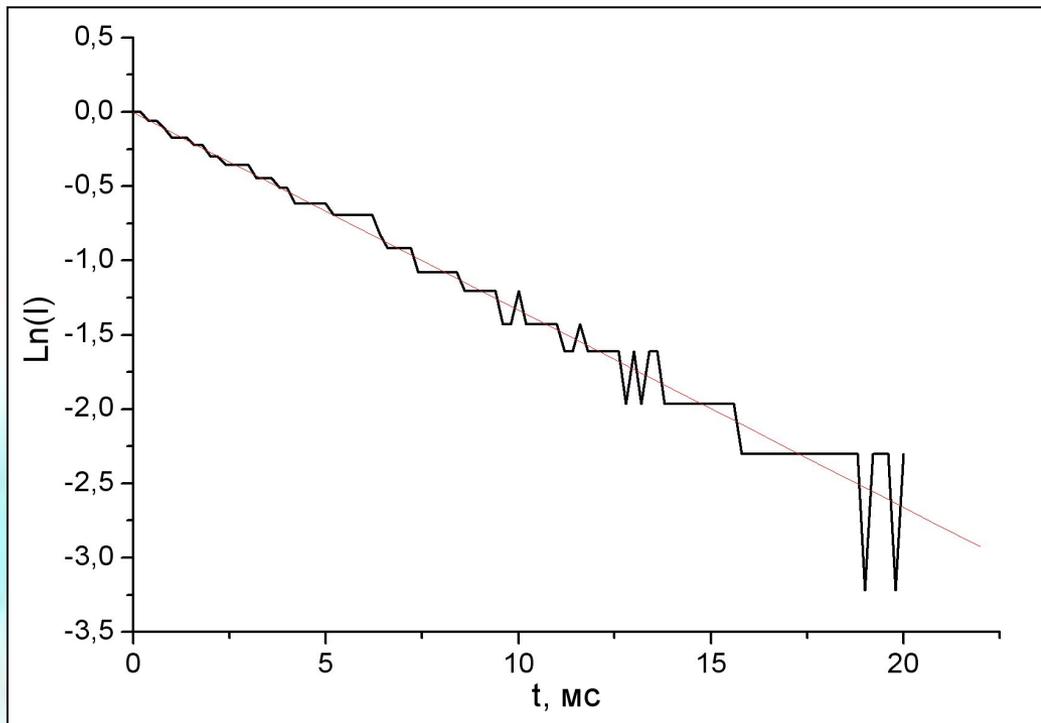
Блок-схема установки для регистрации кинетик затухания люминесценции



1 - импульсный твердотельный лазер на основе YAG:Nd LQ 829, вторая гармоника которого использовалась для накачки перестраиваемого импульсного твердотельного лазера на основе Al₂O₃:Ti LX 329 (2), 3 - лазерный диод с $\lambda_{\text{изл}} \approx 800$ нм, 4 - поворотное зеркало, 5 - образец, 6 - монохроматор МДР-23, 7 - фотоприёмник, 8 - цифровой осциллограф, 9 - компьютер.

Длительность импульса лазера на основе Al₂O₃:Ti LX 329 составила 20 нс, полупроводникового лазерного диода ~1мкс

Кинетика затухания люминесценции с уровня 3F_4 в кристаллах ZrO_2 -12мол% Y_2O_3 -2мол% Tm_2O_3



$$\tau_{\text{exp}} = 7.8 \text{ мс}$$

$$\tau_{\text{rad}} = 7.9 \text{ мс}$$

$(\lambda_{\text{возб}} = 775 \text{ нм}, \lambda_{\text{рег}} = 1900 \text{ нм}).$

Установка для прямого высокочастотного плавления диэлектриков в холодном контейнере «Кристалл-407» (частота 5.28 МГц, мощность 60 кВт)

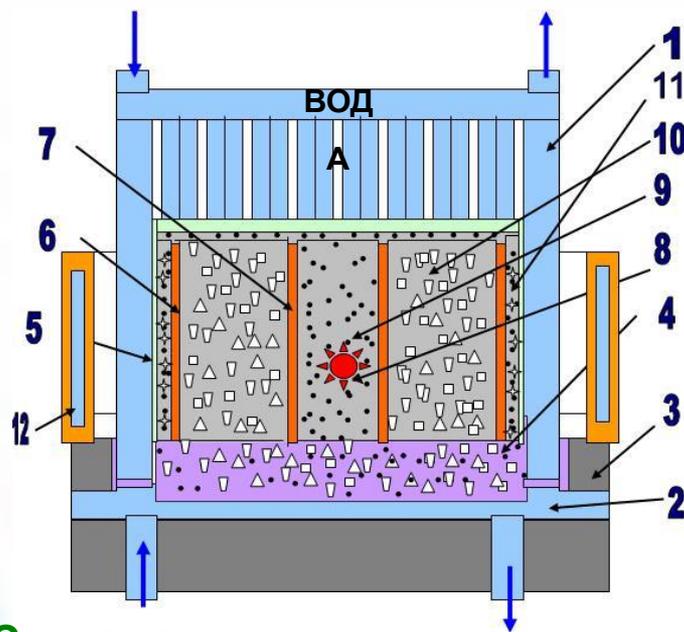


Схема загрузки холодного контейнера:

1 - стенка ХК; 2 - дно ХК; 3-скрепляющее кольцо; 4-теплоизолирующий слой на дне контейнера; 5-слой бумаги; 6,7 –медные обечайки; 8 –металл; 9- порошкообразная шихта; 10 – кристаллические обходы; 11- слой порошка и мелкокристаллических отходов, 12-индуктор.